

# 基于单方向特征提取的虹膜识别算法研究

岳学东<sup>1</sup>, 刘 洋<sup>2,3</sup>

YUE Xue-dong<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>2,3</sup>

1. 郑州大学 物理工程学院, 郑州 450052

2. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 西安 710119

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039

1. Physical Science and Technology College, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

2. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

E-mail: yuexd@zzu.edu.cn

YUE Xue-dong, LIU Yang. Research of iris recognition algorithm based on feature extraction on single direction. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(1): 229-231.

**Abstract:** Directions of iris texture play an important role in iris recognition. 2-D Gabor transform is applied to analysis directions of iris texture. The results of the experiments show that the iris features for recognition distribute mainly along the circumferential direction and better recognition results can be obtained by extracting iris features only along circumferential direction than that along all directions.

**Key words:** iris texture; feature extraction; Gabor transform; direction distribution

**摘 要:** 虹膜纹理的方向特征在虹膜识别中具有重要地位。利用 2D Gabor 小波的方向选择性, 对虹膜纹理的方向分布特性进行了分析, 由分析结果发现: 可供识别的虹膜纹理特征主要沿虹膜圆周方向分布, 在此基础上提出单方向特征提取虹膜识别算法。实验表明, 与多方向特征提取相比, 只沿圆周方向对虹膜进行特征提取不仅编码短, 而且识别效果更好。

**关键词:** 虹膜纹理; 特征提取; Gabor 变换; 方向分布

**文章编号:** 1002-8331(2008)01-0229-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.4

## 1 引言

虹膜识别过程中, 由于 2D Gabor 函数具有良好的方向及频率选择性而被广泛用于虹膜纹理的特征提取。Gabor 函数的方向选择性与虹膜纹理的方向分布有着直接的关系, 因此 Gabor 函数方向参数的选取直接影响到特征提取的优劣和识别效果的好坏。

目前, 采用多方向 Gabor 函数对虹膜进行特征提取的识别算法已被广泛使用<sup>[1,2]</sup>, 这些算法等效地提取虹膜各个方向的特征, 而未考虑到虹膜纹理的明暗起伏在不同方向上具有明显的差异。本文采用单方向的 Gabor 函数分别在不同方向上对虹膜图像进行特征提取和相位编码, 通过比较虹膜特征码匹配结果, 得到虹膜识别效果与 Gabor 函数方向性之间的关系, 并在此基础上提出单方向特征提取的虹膜识别算法, 实验证明, 该算法的识别效果优于多方向特征提取。

## 2 虹膜图像的分层归一化

对虹膜进行特征提取之前, 需进行虹膜定位、归一化等预处理。根据文献[3]中的定位方法得到定位后的虹膜图像如图 1 所示。

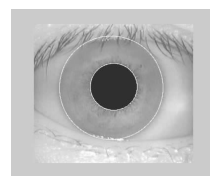


图 1 定位后的虹膜图像



图 2 归一化展开的虹膜图像

为了补偿瞳孔缩放引起的虹膜径向方向的变形, 通过归一化的方法将虹膜数据投射到径向归一的极坐标系中<sup>[4]</sup>, 这一过程相当于把环状的虹膜在极坐标下展开为等尺度的矩形, 如图 2 所示(行代表虹膜径向坐标  $r$ , 列代表沿圆周方向的角度  $\theta$ )。

由于虹膜内外边缘周长不等, 在归一化展开时如果对整个虹膜区域都采用相同角度间隔  $\Delta\theta$ , 则  $\Delta\theta$  过大会漏掉虹膜外缘附近像素,  $\Delta\theta$  过小又会使虹膜内缘附近像素重复。为改善这一问题, 采用分层归一化方法, 先将虹膜沿径向归一并均分为 8 层(图 3), 然后针对每层图像选择不同的角度间隔展开,  $\Delta\theta$  自内层向外依次减小, 将虹膜展开成 8 个长度不等的矩形(图 4)。

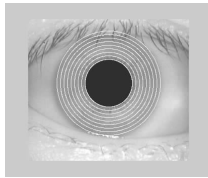


图3 分层的虹膜图像

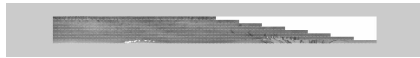


图4 分层归一化展开的虹膜图像

由于每一层的径向宽度很窄,像素点的重复或遗漏就得到有效改善。由图4可以看出外层虹膜会被眼皮和睫毛局部遮挡,因此在提取特征时,内部的4层圆环可按360°全部展开,而外部的4层圆环只取左右90°展开以避免眼皮与睫毛的干扰。

### 3 虹膜纹理的方向特征分析

#### 3.1 虹膜图像的特征提取

生理学实验表明,哺乳动物视觉简单细胞以频带的方式感受空间输入信息,这些频带具有不同的频率中心和方向<sup>[5]</sup>(图5)。这意味着空域信号的特征是由若干频带分量来描述的,因此,采用小波变换将组成图像的子频带分量分解出来,便可有效地提取信号特征。由2D Gabor函数构造的Gabor小波可以很好地模拟视觉简单细胞的感受野轮廓<sup>[6]</sup>(图6),因此本文采用2D Gabor变换对虹膜图像进行特征提取。

2D Gabor函数的空域形式如公式(1)所示:

$$G(x,y)=\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2}+\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right\}\cdot\exp(j2\pi fx') \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \varphi + y \sin \varphi \\ y' &= -x \sin \varphi + y \cos \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

由公式(1)和(2)可见,Gabor函数是由高斯函数经复指数函数沿x'轴调制而成,φ是x'与x方向的夹角,因此φ确定了Gabor函数的调制方向;f是沿φ方向的调制频率,确定了频带中心处的频率值;φ和f分别描述了Gabor函数的方向选择性和频率选择性。

将归一化展开的虹膜图像分为若干块子图像i(x,y),分别对每块子图像进行2D Gabor变换:

$$I_{f,\varphi} = \iint_{x,y} i(x,y)G^*(x,y)dx dy \quad (3)$$

由公式(3)得到的变换系数I<sub>f,φ</sub>便是在频带f和方向φ上提取的特征量。

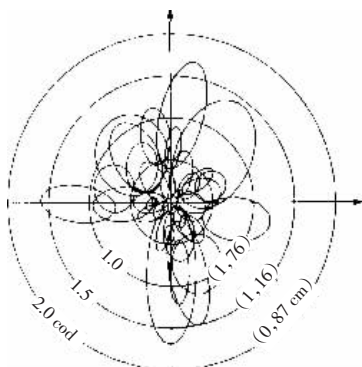


图5 1987年J.P.Jones和L.A.Palmer实验探测到的视觉简单细胞的频带感受野轮廓

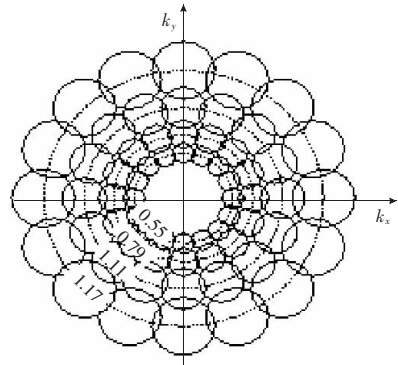


图6 由二维Gabor函数构造的系列Gabor小波的频域轮廓

#### 3.2 虹膜图像的特征编码

特征量I<sub>f,φ</sub>是一个复数,它的幅度主要包含图像的明暗对比信息,而相位则描述不同频带分量之间的相互位置信息,因此相位信息中包含了图像的边缘及纹理结构等重要特征。根据相位在复平面上所处的象限位置进行相位特征编码:

$$h_{Re} = \text{sgn}(\text{Re}(I_{f,\varphi})) \quad (4)$$

$$h_{Im} = \text{sgn}(\text{Im}(I_{f,\varphi})) \quad (5)$$

由公式(4)和(5)得到的两位编码包含了虹膜局部纹理在频带f和方向φ上的相位特征信息。

#### 3.3 虹膜编码的匹配

本文采用海明距离实现编码匹配。任意两个虹膜编码之间的海明距离为:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j(\text{XOR})B_j \quad (6)$$

式中,A<sub>j</sub>和B<sub>j</sub>表示两个虹膜对应位的相位编码,XOR表示“异或”运算,当虹膜对应编码相等时,其“异或”运算值为0,否则为1。因此海明距离是一个衡量虹膜不相似程度的分数,HD=0表示虹膜编码完全一致。由于虹膜任何一位编码等于1和0的概率都相等,因此不同虹膜由于纹理信息不相关,其海明距离的期望值应该是0.5。而相同虹膜的海明距离期望值则接近于0(由于图像采集时间、距离以及相机配置等外部条件的差异,相同虹膜海明距离不等于0)。利用相同虹膜和不同虹膜之间海明距离的差异,可以找到合适的识别阈值,实现虹膜识别。

#### 3.4 虹膜纹理的方向特征分析方法

对于一组虹膜图像,分别在不同的方向上进行特征提取、相位编码并计算海明距离,在包含可用于识别的虹膜纹理信息的方向上,虹膜应该能够被有效识别,即相同虹膜与不同虹膜的海明距离应该有明显的差异,反之,如果二者的海明距离无法区分,则表明在该方向上没有提取到可以识别虹膜的有效特征。这样,通过比较海明距离就可以获得虹膜纹理特征的方向性差异,从而为算法中方向参数的选取提供依据。

### 4 实验结果与分析

实验采用的虹膜图像取自于中科院CASIA虹膜库,图像尺寸320×280像素。将虹膜图像经预处理后分成64块子图像。在区间[0,π)以π/8为间隔取8个方向,分别在每个方向上采用8个不同频率的Gabor小波对所有子图像进行特征提取和相位编码,得到所取方向上的2048位虹膜编码。

表1和表2分别为12组相同虹膜和91组不同虹膜在8个方向上的海明距离平均值、方差和最大(小)值。

表1 相同虹膜在不同方向的海明距离

方向 $\varphi$	海明距离		
	平均值	方差	最大值
0	0.042 1	0.006 0	0.072 3
$\frac{\pi}{8}$	0.140 5	0.008 4	0.192 4
$\frac{\pi}{4}$	0.163 0	0.008 3	0.218 3
$\frac{3\pi}{8}$	0.181 4	0.009 0	0.236 3
$\frac{\pi}{2}$	0.184 6	0.008 0	0.231 4
$\frac{5\pi}{8}$	0.181 5	0.008 7	0.238 8
$\frac{3\pi}{4}$	0.162 8	0.007 4	0.215 3
$\frac{7\pi}{8}$	0.135 4	0.006 6	0.174 8

表2 不同虹膜在不同方向上的海明距离

方向 $\varphi$	海明距离		
	平均值	方差	最小值
0	0.118 5	0.004 7	0.031 3
$\frac{\pi}{8}$	0.344 2	0.007 0	0.195 3
$\frac{\pi}{4}$	0.408 1	0.006 1	0.284 7
$\frac{3\pi}{8}$	0.438 0	0.005 5	0.328 1
$\frac{\pi}{2}$	0.444 6	0.005 4	0.324 2
$\frac{5\pi}{8}$	0.439 6	0.005 5	0.326 7
$\frac{3\pi}{4}$	0.405 5	0.006 1	0.275 9
$\frac{7\pi}{8}$	0.338 3	0.007 1	0.189 9

表1和表2中,  $\varphi$ 取 $\pi/2$ (沿虹膜圆周方向)附近时,不同虹膜海明距离均值在0.44左右,最小值接近0.33,充分体现了不同虹膜特征之间的不相关性,而在这一方向上相同虹膜的海明距离均值只有0.18,最大值不超过0.24,可见在 $\varphi=\pi/2$ (沿虹膜圆周)方向附近,可以有效识别虹膜。随着 $\varphi$ 以 $\pi/2$ 为中心逐渐增加或减小,尽管相同虹膜的海明距离有所下降,但不同虹膜的海明距离也明显减小,尤其二者的最大和最小值明显接近甚至交叉,以至于无法识别。特别地,在 $\varphi$ 取0(沿虹膜径向)方向上,不同虹膜的海明距离均值只有0.118 5,表现出极大的相似性,表明在此方向上并未有效地提取到可用于识别的虹膜纹理特征。

根据上述分析结果,如果多方向提取虹膜特征进行编码和匹配,不仅会增加编码长度,而且会编入大量无效信息,使不同

虹膜海明距离偏小,影响识别效果。本文采用只沿圆周方向提取虹膜特征的算法,既降低了运算量,又可有效地进行虹膜识别。表3给出了多方向和单方向(沿圆周方向)特征提取算法的海明距离比较。

表3 多方向与单方向特征提取结果比较

方向	海明距离	相同虹膜	不同虹膜
多方向	平均值	0.168 3	0.366 8
	方差	0.008 7	0.005 5
	最大(小)值	0.214 7(最大)	0.251 8(最小)
单方向	平均值	0.184 6	0.444 6
	方差	0.008 0	0.005 4
	最大(小)值	0.231 4(最大)	0.324 2(最小)

由表3可见,与多方向提取虹膜特征相比,沿圆周单方向提取特征得到的相同虹膜海明距离稍有增加,但不同虹膜海明距离却大大增加,这表明单方向提取虹膜特征,在保持相同虹膜相似性的同时,可以更大程度地反映不同虹膜的不相关性。同时,单方向特征提取算法得到的识别域值范围(0.231 4~0.324 2)远大于多方向算法(域值范围0.214 7~0.251 8),因此单方向提取虹膜特征具有更优越的识别效果。

## 5 结论

本文利用2D Gabor函数的方向选择性对虹膜纹理的方向特性进行了分析,发现可用于识别的虹膜纹理信息主要沿虹膜圆周方向分布。实验表明,与多方向提取虹膜特征相比,单方向提取虹膜特征可以获得更好的识别效果。这种针对特征提取的方向性分析方法也为人脸、指纹等相关识别领域的研究提供了很好的借鉴。(收稿日期:2007年7月)

## 参考文献:

- [1] 郭永彩,谷建清,高潮,等.用Gabor滤波器实现虹膜图像纹理编码[J].光电工程,2006,33(4).
- [2] 范玮琦,狄文彬,于洪霞,等.基于离散Gabor变换的虹膜编码方法研究[J].仪器仪表学报,2003,24(4).
- [3] Daugman J.How iris recognition works[J].IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,2004,14(1):21-29.
- [4] Daugman J.The importance of being random;statistical principles of iris recognition[J].Pattern Recognition,2003,36:279-291.
- [5] Jones J P,Palmer L A.An evaluation of the two-dimensional gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex[J].Neurophysiology,1987,58(6):1233-1258.
- [6] Daugman J.Complete discrete 2-D gabor transforms by neural networks for image analysis and compression[J].IEEE Transactions on Acoustics,Speech,and Signal Processing,1988,36(7):1169-1170.
- [7] Mehre B M,Chatterjee B.Segmentation of fingerprint images—a composite method[J].Pattern Recognition,1989,22(4):381-385.
- [8] Bazen A M,Gerez S H.Direction field computation for fingerprints based on the principal component analysis of local gradients [C]//Proc ProRISC2000,11th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, Veldhoven,The Netherlands,Nov.30-Dec 1,2000,2000:215-222.
- [9] Bazen A M,Gerez S H.Segmentation of Fingerprint Images[C]//Proc ProRISC2001,12th Annual Workshop on Circuits,Systems and Signal Processing, Veldhoven,The Netherlands,Nov.29-30,2001,2001:276-280.
- [10] Kass M,Withkin A,Terzopoulos D.Snakes:active contour models[J].Internat J Comput Vision,1988,1(4):321-331.
- [11] 刘志俭.主动轮廓模型的算法研究及应用[D].国防科学技术大学,1991.
- [12] Yin Y,Wang Y,Yang X.Fingerprint image segmentation based on quadric surface model[C]//Proceedings of Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication:5th International Conference (AVBPA' 2005),Hilton Rye Town,NY,USA,2005:647-655.
- [13] Ren C,Yin Y.A hybrid method of fingerprint segmentation[J].Journal of Computational Information Systems,2006,2(4):1411-1417.

(上接210页)